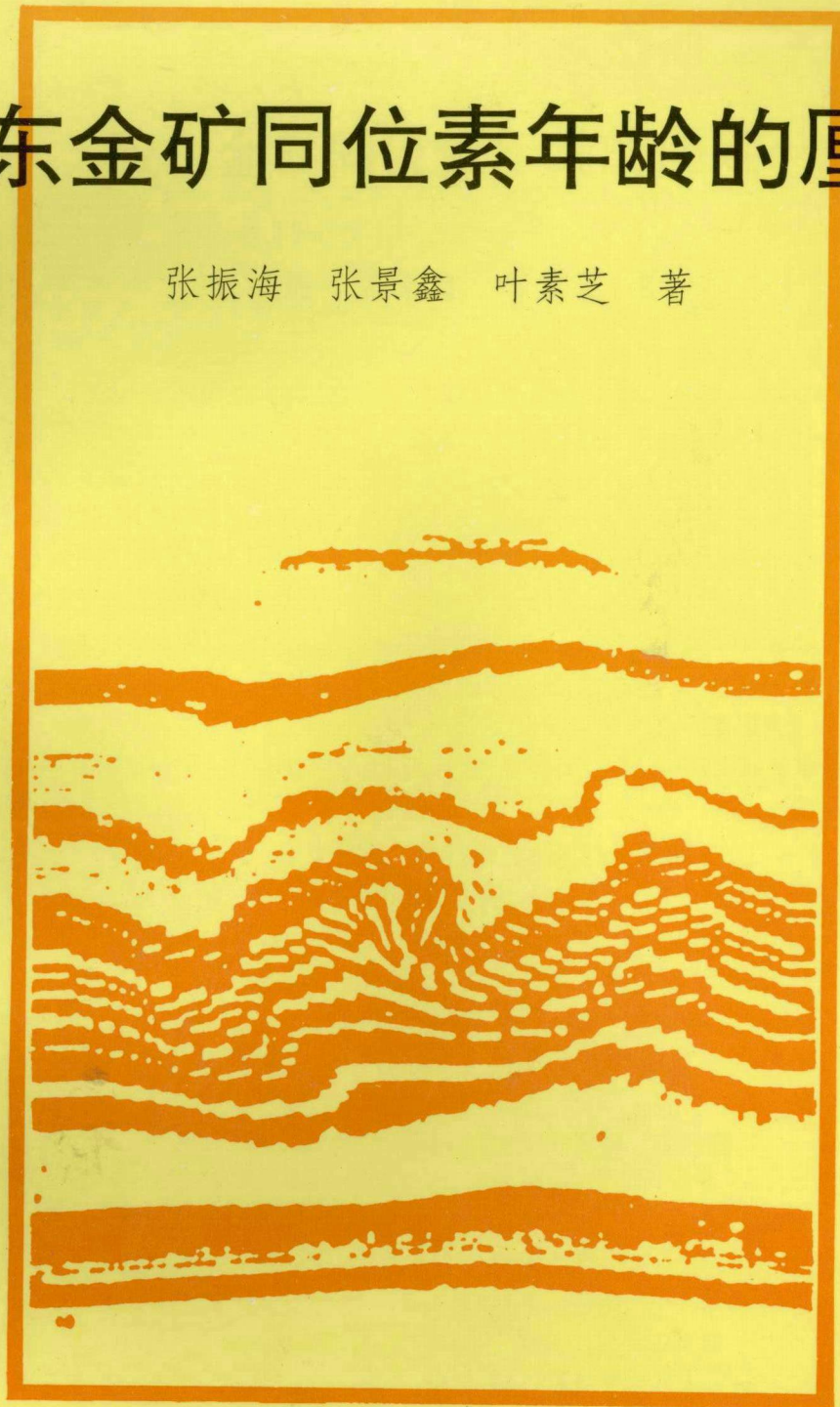


胶东金矿同位素年龄的厘定

张振海 张景鑫 叶素芝 著



地震出版社

胶东金矿同位素年龄的厘定

张振海 张景鑫 叶素芝 著

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书是地质矿产部金矿专项科研项目成果,是一部运用同位素年代学理论,以 Rb-Sr 测年方法全面地研究胶东金矿同位素年龄的著作。作者以严谨的科学态度,对胶东几个成矿带上有代表性的矿床进行了剖析,首次在乳山金矿完成了一次矿化几个矿化阶段的同位素年龄测定工作,提出了“主矿化期同位素年龄”的概念;首次采用了蚀变矿物组合样品,成功地测定了一批 Rb-Sr 等时线年龄数据;首次用一系列($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)初始比,给胶东金矿物质来源提供了依据;对胶东玲珑花岗岩、昆俞山花岗岩提出了自己的见解。

研究成果对胶东金矿在时间域上的演化,对成矿理论的研究及找矿都将起到颇有价值的作用,为 Rb-Sr 测年方法的应用开拓了新的视野,注入了新的活力。

本书可供从事专业地质工作人员、教学和科研人员阅读、参考。

胶东金矿同位素年龄的厘定

张振海 张景鑫 叶素芝 著

责任编辑:李洪杰

*

地 震 出 版 社 出版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 3.625 印张 2 插页 90 千字

1991 年 3 月第一版 1994 年 3 月第一次印刷

印数: 001—500

ISBN 7-5028-1121-4 / P·679

(1514) 定价: 5.80 元

前 言

胶东是我国最大的产金区,具有悠久的采金历史,黄金产量居全国之冠,地质科研程度亦属全国前列。

胶东地区系统的金矿地质科研工作始于 1949 年之后,曾有大批的科研单位、高等院校和野外地质队在该地区从不同学科对基础地质、金矿成因及成矿预测等方面进行了不断深入的研究,其科研成果、金矿专著之多堪称全国之最。

胶东同位素地质年代学的工作是从 1963 年开始的。1964 年在《地质科学》见正式报导,到 1988 年陆续有大量同位素年龄数据公开发表^①。这期间,同位素年龄集中于解决地层和侵入体的变质或侵位时代问题。所用方法,1980 年以前以 K-Ar 体积法为主;1980 年之后完善了 U-Th-Pb 法和 Rb-Sr 等方法。对于众多的金矿床成矿时代,在 1987 年之前仅以与矿床成因有关的侵入体形成时代加以推论而得出;1988 年才见用蚀变矿物绢云母来测定金矿床矿化年龄的数据报导。

作者自 1989 年开始从事于金矿化同位素年代学的研究工作,当年正式提交了从金矿床蚀变围岩中选出的蚀变绢云母用 Rb-Sr 等时线方法所测出的一批年龄数据。但是这些工作是初步的,对金矿床蚀变围岩的研究及其如何挑选合适的年龄样品研究有待深入。因为当时认为只有挑出纯的蚀变绢云母才能进行年龄测定研究。拘于此,牵联到样品挑选难度大以及成本高、没有专项经费等因素,影响了研究工作的深入进行。

为了使我国金属矿床成矿时代测定工作更直接、更可行、更科学化;为了使我国胶东这个研究程度最高的产金区的科研工作更加系统和深入,使成矿过程在时间上定量化。地质矿产部特在 1990 年设立了有关金矿同位素年龄厘定的地质科研项目。

岩金是我国金矿床的主要类型。热液矿床成了金矿的最主要的成因类型而引起注重研究。对金矿床围岩蚀变的研究不仅具有探讨金矿成因的理论意义而且也具有经济意义,所以一直是矿床学者必不可少的工作取向。各学派对围岩蚀变进行了大量的研究工作之后,所论及的观点虽稍有不同,但基本是一致的,归纳起来主要是:

其一:要形成原生金矿必须经过元素活化—运移—富集沉淀的成矿过程。在这个多次反复进行的过程中,都需要强烈的构造岩浆活动及蚀变作用。因此认为,金矿的形成是个多作用、多阶段、多期次、多成因的长期复杂的继承演化的结果。

其二:围岩蚀变是热液矿床中普遍存在的现象。研究围岩蚀变的特征,正确划分蚀变围岩类型,划定围岩蚀变期次、顺序、作用过程以及确定蚀变过程中成分的变迁等,对追溯成矿过程和寻找矿床都是十分重要的。

其三:围岩蚀变异常强烈是构造岩蚀变的特征。通常都发育有钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化等,且有一定的分带规律。从主裂面往外,动力变质作用

^①中国地质学会,第三、第四届全国同位素年代学,同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编,1986,1989。

和热液蚀变作用逐渐减弱,在黄铁绢英岩化带大都是金矿作用最强的部分,从而形成富的工业矿体。

借鉴上述观点,我们在广泛的地质考察、研究的基础上,在胶东诸多矿化带中选出具有代表性的矿床重点作了剖析及取样、室内鉴定、选样、分离、测试。以 Rb-Sr 等时线的方法获取其同位素地质年龄。在取样、选样中,注意对蚀变带和蚀变矿物的研究,如多次蚀变的叠加、期次、矿物组合、共生规律;注意 Rb-Sr 封闭体系的分析和辨证处理;注意不同组分的试样元素在分离时实验条件的变化;样品测试中新技术的应用和等时线的拟合等等。

本研究测定的一系列同位素年龄,对胶东金矿在成矿过程中时间域上的演化提出了如下见解:胶东金矿多形成于燕山期,最早矿化发生在 1.88 亿年左右,形成以灵山沟金矿为代表的金矿床;之后,燕山期活动进入高潮,含金热液到处穿插,在约 0.8 亿年内,处于特定的环境中先后形成了乳山、玲珑、栖霞、玲珑 108 号脉等金矿床;燕山期 1 亿年之后,活动减弱,不再造成有意义的金矿化;喜山期活动再起,距今约 0.46 亿年形成了以界河金矿为代表的金矿床。

胶东金矿成矿集中在燕山期大约 0.8 亿年的时间范围内,各带成矿的早晚无明显的规律性,取决于该区的地质条件。

本研究首次对胶东东部牟-乳断裂带上的乳山金矿测定了一次成矿作用不同矿化阶段的同位素年龄,这是前人未曾作过的大胆尝试。对围岩蚀变分带发育不全的金矿床,提出了测定其“主矿化期同位素年龄”的概念,使为数众多的金矿床的成矿年龄得以综合性的有科学意义的表达。以对 Rb-Sr 方法全方位的理解并鉴于目前测试水平的提高,我们采用了蚀变矿物组合样品,从而大大扩展了取样、选样的适应性,这种新扩展给已经成熟的 Rb-Sr 方法在应用方面注入了新的活力。据此,我们获得了包括山东、河南、安徽等省在内的一批金或金属矿床成矿的年龄数据,对分析矿床成因和找矿思路都起到了颇有价值的作用,这些成果还体现在对郯庐断裂两侧、纬向构造体系小秦岭地区的金矿床和铅锌矿床的横向验证。可以说,本研究推出并采用的蚀变矿物组合样品,为今后解决不同围岩、不同时期金矿床的成矿时代问题,拓宽了视野和途径,提高了效益和能力。

胶东金矿一系列 Rb-Sr 等时线提供的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值集中在 0.71032—0.71534 之间。这说明,胶东各金矿的物质来源并非纯系上地幔,而是来源于大陆壳。即使来源于上地幔的岩浆也是在侵位的过程中,大量地熔融了大陆壳,已经面目全非了。

1993 年为了把研究成果及时能为生产科研服务,在《贵金属地质》第 2 卷第 1 期上发表了《胶东招掖金矿带金矿化蚀变带 Rb-Sr 等时线的研究及测定》、《矿化期同位素年龄测定中样品的挑选及元素分离技术的研究》。在《河南地质》1993 年第 11 卷第 2 期上发表了《矿化期同位素年龄的初探》等三篇文章,反映了本研究的阶段成果,受到同行专家的重视。

本研究是在地质矿产部科技司、金矿专项办公室领导下及地质力学研究所科技处直接管理下进行的。野外地质工作得到了各所在矿山、黄金管理部门领导的关心和指导。研究工作中得到了孙培基高级工程师、刘敦一研究员、陈光远教授、邵伟教授的指教和帮助,在此一并致谢。

目 录

第一章 胶东金矿区域地质背景	(1)
第一节 区域地层	(1)
第二节 岩浆岩	(2)
第三节 构造及金矿带分布	(2)
第二章 胶东金矿围岩蚀变和成矿阶段	(4)
第一节 蚀变岩的类型	(4)
第二节 蚀变岩的分带和期次	(6)
第三节 成矿阶段	(7)
第三章 矿化期同位素年龄测定样品的挑选	(8)
第一节 Rb-Sr 法测定同位素年龄样品的必备前提	(8)
第二节 样品挑选的依据	(8)
第三节 封闭体系的辩证认识和处理	(10)
第四节 挑出合格的样品	(11)
第四章 玲珑矿田金矿床主矿化期同位素年龄的确定	(12)
第一节 地质概况	(13)
第二节 围岩蚀变	(13)
第三节 西山矿区 108 号脉金矿床金矿化期同位素年龄的确定	(15)
第四节 东山矿区九曲金矿床金矿化期同位素年龄的确定	(17)
第五章 灵北矿田灵山沟矿区金矿床主矿化期同位素年龄的确定	(20)
第一节 地质概况	(20)
第二节 围岩蚀变	(20)
第三节 主矿化期同位素年龄的测定	(20)
第六章 焦新矿田界河金矿成矿期同位素年龄的确定	(23)
第一节 地质概况	(23)
第二节 围岩蚀变	(23)
第三节 主矿化期同位素年龄的测定	(23)
第七章 胶东乳山金矿矿化阶段同位素年龄的研究及测定	(26)
第一节 地质概况	(26)
第二节 围岩蚀变	(26)
第三节 矿化阶段同位素年龄的测定	(28)
第四节 小结	(32)
第八章 胶东栖霞马家窑金矿成矿期同位素年龄的确定	(35)
第一节 地质概况	(35)
第二节 围岩蚀变	(36)

第三节	主矿化期同位素年龄测定	(36)
第九章	分析测试技术	(38)
第一节	样品的挑选和研磨	(38)
第二节	被测元素的分离技术	(38)
第三节	元素的测试	(39)
第四节	分析测试中标准样控制	(39)
第五节	样品点的筛选和等时线的处理	(39)
第十章	其它地区金矿化同位素年龄的测定	(41)
第一节	郯庐断裂带两侧其它地区金矿床成矿年龄的测定	(41)
第二节	纬向构造体系中金矿床成矿时代的测定	(42)
第三节	其它地区同位素年龄测定的结论	(44)
第十一章	对一些地质体形成时代的再认识	(45)
第一节	玲珑花岗岩成岩时代的讨论	(45)
第二节	昆嵛山花岗岩成岩时代的讨论	(46)
第十二章	胶东金矿同位素年龄厘定研究结论	(48)
第一节	胶东金矿成矿在时间域上的演化	(48)
第二节	样品适应性的新扩展	(49)
第三节	成矿阶段与主矿化期同位素年龄的测定	(50)
第四节	胶东金矿物质来源	(50)

第一章 胶东金矿区域地质背景

胶东在大地构造上属华夏构造系系列,主要发育晚期新华夏系二级构造带——胶东断裂构造带。

第一节 区域地层

胶东地区内出露地层以太古界胶东群为主,其在胶东隆起范围内占全部出露地层的70%。其次为下元古界粉子山群,出露较局限;晚元古界蓬莱群,出露零星。由于胶东地壳长期上升,致使整个古生界缺失,中、新生界也发育不全。

一、胶东群

胶东群主要分布于栖霞至招远以南,总走向为东西向。从下至上较为通用的划分层序为:蓬乔组、民山组、富阳组。蓬乔组与民山组均以黑云变粒岩及斜长角闪岩为主。富阳组以片麻岩为主,黑云变粒岩仅为夹层。

胶东群中发育有不均匀的混合岩化现象,表现明显处可出现注入混合岩、条带状混合岩、眼球状混合岩等。据对余汉茂(1984)采集的胶东群中上部层位中5个锆石样品进行Ub-Th-Pb法同位素年龄测定,计算Pb-Pb等时线年龄为 $2664.5_{-8.0}^{+9.0}$ Ma, U-Pb谱和图上交点为2670Ma。一般将此值视为蓬乔组形成年龄。

二、粉子山群

粉子山群多沿胶东群地层边缘呈线型分布,假整合或局部不整合于胶东群之上。主要岩石类型有:黑云变粒岩、石英岩、大理岩、片麻岩、二云母片麻岩等。岩石属中级变质,混合岩化程度较弱。测定黑云母片岩K-Ar年龄为1450Ma(据山东地质六队)。

三、蓬莱群

蓬莱群在区内分布零星,覆盖在胶东群之上,与下伏岩层为明显的不整合接触。岩石类型主要为浅变质的石英岩、板岩、千枚岩、大理岩、灰岩等,据有关资料,K-Ar法同位素年龄为900—1100Ma,属元古代产物。

四、中生代地层

本区中生界上侏罗、下白垩系为陆相火山岩,分布在断陷盆地内。层中夹有中基性火山岩,显示出胶东中生代构造岩浆活动十分强烈,对金矿化及其找矿勘探极为有利。

第二节 岩 浆 岩

区内岩浆活动频繁,侵入岩为大面积出露的花岗岩类和各种酸、中、基性脉岩。胶西北地区主要分布有玲珑粗粒黑云母花岗岩、玲珑(中)细粒浅色花岗岩,栾家河花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、上庄变斑状花岗岩、艾山花岗闪长岩以及胶东东部地区的三佛山和昆嵛山花岗岩。

胶东金矿带脉岩类极为发育,伟晶岩与细晶岩脉常出现于各金矿区深部及外围,此是指示碱质与硅质活动与其后金矿化的标志,是与金矿化有关的长石石英脉出现的前奏。

第三节 构造及金矿带分布

胶东地区主要发育晚期新华夏系二级构造带——胶东断裂构造带。

在成矿前新华夏系构造活动比较强烈,造成了大量的脉岩侵入,为含矿热液的形成和金元素迁移富集提供了必要的地质条件。

在成矿过程中,由于新华夏系多次活动的影响,造成了多个成矿阶段。诸多矿床学家对成矿阶段的划分大体相似,即均以钾长石化硅化阶段开始,进而主要矿化阶段即石英-黄铁矿化、多金属硫化物阶段,结束于碳酸盐化阶段。

在成矿之后,新华夏系还有构造活动,但强度相对较弱。

研究表明本区构造有分级控矿的规律性。大断裂并不含矿,但在其一侧或两侧与其平行的规模较小的断裂中可找到矿体。也可看到,构造体系中具有断裂带的方向性和等距性控矿规律。胶东地区从西到东有如下大的成矿带:招-掖金矿带、蓬莱-平度北东金矿带,栖霞-马家窑金矿带、牟平-乳山金矿带。

招-掖金矿带集中了胶西北地区金矿储量的95%以上,主要包括三山岛、焦家、新城、界河、灵山沟、北截、金翅岭和玲珑等金矿。

中部栖霞-马家窑金矿带主要包括马家窑、山城、流口等金矿。

东部牟平-乳山金矿带主要包括金青顶、邓格庄、金青岭等金矿。

每条成矿带上的矿床分布同样具有等距性,这种突出性、普遍性的构造控矿规律对找矿极为有利。

我们的具体工作区和同位素年龄采样分布见图 1.3.1

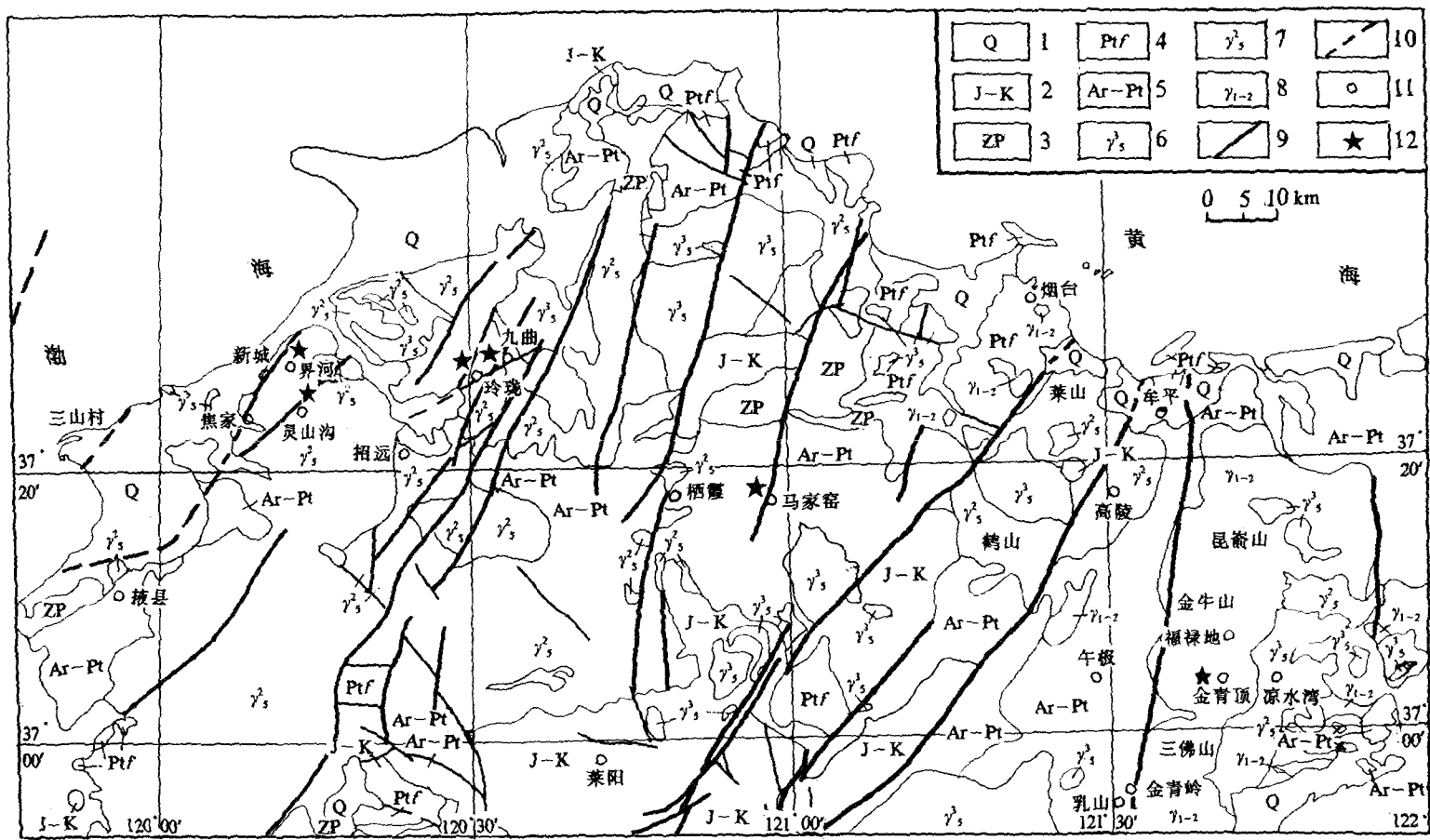


图 1.3.1 胶东金矿区同位素年龄采样点分布图

- 1.第四系; 2.侏罗-白垩系; 3.震旦系; 4.二叠系; 5.太古-元古界(胶东群); 6.燕山晚期花岗岩;
7.燕山早期花岗岩(玲珑花岗岩); 8.太古-元古花岗岩; 9.断层; 10.推测断层; 11.金矿点; 12.采样点

第二章 胶东金矿围岩蚀变和成矿阶段

已有的研究工作表明,围岩蚀变作用既可发生于成矿期间,也可发生在成矿之前或成矿之后,而各期围岩蚀变又可相互叠加。与岩浆演化作用有关的含矿溶液和不含矿的热液均可使围岩发生蚀变,只是深度和广度有所差别。因此,正确地划分蚀变围岩的类型、期次、顺序、化学过程与成岩成矿过程溶为一体,以便找出成矿时形成的蚀变矿物或矿物组合给以同位素年代学研究,这对得出金矿床矿化的年龄有着十分重要的意义。

第一节 蚀变岩的类型

一、长石化

长石化主要表现为钾长石化,另外有微斜长石化、冰长石化、钠长石化,当含粉状赤铁矿较多时便形成红色长石,俗称红长石化。

Au 的搬运剂主要是非金属元素 O、H、C、N、S、Cl、F,它们可与 Au 离子形成各种可溶性盐类、络合物、胶体溶液或水溶液。金属元素 K、Na、Ca、Mg 等可使溶液碱化,提高氧化程度,促进 Au 溶解、运移和沉淀。以上作用在矿物学上的表现为非金属元素进入矿物成分结构及气液包体。金属元素 K、Na、Ca、Mg 形成成矿外围的蚀变矿物,如长石化(钾、钠长石化)等。长石化一般分布在蚀变带外侧,但当绢云母化不发育时,它也可邻近矿体出露。

由于所处构造的地质环境不同,长石化可向两个成岩成矿系列发展。受构造裂隙控制的多呈脉状沿裂隙产出;受构造破碎带控制的多呈团块状面型钾化,成为蚀变岩型金矿的前奏。

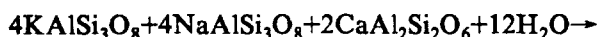
长石化是 Au 矿形成的先导。长石化强烈,表示该地区有元素的强烈运移,粒度愈粗,表示挥发组分含量愈高;颜色愈红,表示氧化程度愈高,对 Au 矿化越有利。脉型钾化和团块状钾化分别是找石英脉型金矿和蚀变岩型金矿的标志。

长石化是成岩-成矿过渡阶段的产物。陈光远等将其列为成矿期中的无矿化阶段,只相当于使成矿物质转移到有利地段富集成矿作用的纽带,所以一般情况下它的同位素年龄应该是成矿阶段中最早的计时。

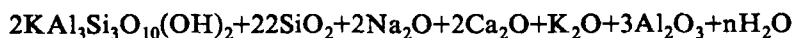
应该提到的是长石化往往与硅化形成蚀变组合,钾长石化沿裂隙向上可逐渐演化为白色干净的石英小脉,小脉中可见石英与钾长石颗粒共生。白色石英小脉再向上有可能逐渐演化出石英黄铁矿脉并有一定的金。这充分反映出了钾长石化是金矿主矿化期的前锋。取长石化阶段的长石测定同位素年龄,即可代表成矿热液前锋的年龄。

二、硅化

硅化是金矿围岩最为常见的蚀变现象。含有大量长石类的花岗质岩石,受蚀变出现大量的绢云母和游离的石英。根据交代蚀变岩的矿物成分变化以及交代特征和化学组分的迁移,交代蚀变的反应可用下式表示:



钾长石 钠长石 钙长石



绢云母 石英

局部地区绢云母和石英分别集中,石英常在绢英岩化的外侧形成窄而富集的硅化带,有时可出现独立的硅化带,岩石致密而坚硬,几乎全由硅质物构成。著名的玲珑矿田的“玲珑背”即是由硅化带构成的。

蚀变型的石英呈不同形状、不同颜色(因含杂质不同)、不同粒级存在于蚀变岩中。它是矿化阶段的产物,其本身常常含金(多为暗灰色,金含于微细隙之中)。所以用它测试的同位素年龄应反映出矿化时期的年龄。

三、绢英岩化

绢英岩化是金矿区最广泛的一种蚀变类型,主要分布在矿脉或无矿石英脉的两侧,与断裂关系密切,绢英岩主要由蚀变绢云母、石英组成。绢云母和石英都是热液蚀变产物(交代蚀变反应式见前)。对应着多阶段的成矿热液活动,有多阶段的绢云母、石英产生。有时可和蚀变产生的黄铁矿构成黄铁绢英岩带。绢英岩化带一般宽数十厘米至十余米不等。绢英岩化是金矿化的主要矿化阶段,与黄铁矿化组成金矿的主矿化期。所以从绢英岩中选取绢云母测定矿化年龄就成了年代学者的主要方法。

四、黄铁矿化

随着金矿围岩蚀变的增强,含矿热液已从早期热液具有高温、高氧化势及低硫特点的氧化环境向高硫还原环境转变。围岩中暗色矿物首先分解,释放出 Mg、Fe 等并向裂隙迁移,进入热液系统,导致矿脉中出现大量富 Mg、Fe 的矿物,如黄铁矿。因为金有亲铁性,所以黄铁矿中存在金,成了金的主要载体。

黄铁矿化多分布于矿脉附近,呈脉状或浸染状叠加于绢英岩化之上,构成所谓的黄铁绢英岩,它是每次矿化的主矿化期,是主要的成矿阶段。黄铁矿化的宽窄和强弱根据金矿类型不同而有所差异。

黄铁矿化时产生的黄铁矿是成矿阶段的产物,是主要含金矿物,其中含测定同位素年龄的母体(如铷)、子体(如锶)较少,单独对它进行测试难度较大,但不是年龄样品中的杂质成分,没必要对它费力地加以排除。

五、碳酸盐化

一般认为碳酸盐化只是成矿热液最晚期的产物,与金矿化的关系不重要,其出露局限且不规则,有时邻近矿体,有时远离矿体,常以微细方解石脉产出。碳酸盐化还表现为菱铁矿的出现。

不少专家对胶东玲珑金矿的方解石进行成因矿物学研究之后认为,方解石广泛发育,往往方解石发育强的地段金矿矿化也强。在矿化的主要阶段都有方解石的存在,它时而与石英共结晶,时而与黄铁矿共生。金的富矿部位附近,方解石大量发育。有许多银、金矿就与方解石共生,这说明碳酸盐化作用与金矿化有密切联系。在金的热液运移中,CO₂ 向围岩

扩散, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 阴离子团可能起到了对金硫络合物的保护作用, 当热液中有较多的碳酸根离子时, 有助于金硫络合离子团的稳定; 当热液物理化学条件改变, 沉淀碳酸盐矿物并同时使围岩发生碳酸盐化时, 热液中的 CO_3^{2-} 大量消耗, 从而加快了金的沉淀。所以碳酸盐化形成的方解石既有成因意义也有找矿意义, 作为测定矿化时的同位素年龄样品更是毫无疑问的了。

六、绿泥石化、绿帘石化

绿泥石化、绿帘石化在不同矿区发育程度不尽相同。在发育较好的矿区如乳山金矿, 它们也不独立成蚀变带, 而是叠加在其它蚀变带之上。早期的绿泥石化、绿帘石化是由于 K、Na 的活动, Ca、Mg、Fe、O、H、S 的活动加强, 而使角闪石、黑云母绿泥石化, 斜长石绿帘石化, 晚期的绿泥石化、绿帘石化带可切穿矿体, 有时本身又被矿化。所以它们也是金矿化期的蚀变矿物。

第二节 蚀变岩的分带和期次

蚀变组合多是多期热液作用的结果, 若叠加相重合则分带简单, 否则蚀变分带较为复杂。但总的来说, 发育完好的蚀变带有如下规律。

钾化(长石化)是在蚀变带的最外层, 远离矿体。

绢英岩化带, 靠钾化带向矿体分布, 此带有时为黄铁绢英岩化, 或把黄铁绢英岩化带单分成更靠近矿体的一个带。

石英脉矿体居蚀变带的核心。

蚀变带因地而异, 并非所有蚀变带都对称发育上述各带, 不少蚀变带发育并不对称或大部缺失。

蚀变也具有垂直的分带特征, 随金矿化出露标高不同有所差异。蚀变带水平方向总的趋势是由蚀变边缘到中心矿物组合的形成可分为三个阶段: 钾微斜长石阶段、绢云母石英阶段、水云母阶段。矿化多在后两个阶段同时形成。

蚀变作用的期次: 蚀变作用的期次和顺序是通过蚀变岩与已知的各成矿阶段的穿切和包含关系来确定的。钾长石化蚀变岩常遭到绢英岩化, 而绢英岩又被呈细脉、星散状的黄铁矿所交代。钾长石化可逐渐演化为石英小脉, 沿石英小脉又演化成石英黄铁矿脉。有时单独的硅化仅靠近矿体。细鳞片状绢云母几乎全部交代长石而具长石假象。暗色的铁、镁矿物不复存在, 全部蚀变为绿泥石和黄铁矿。碳酸盐化发育时方解石形成小细脉或方解石-石英小脉, 这在矿脉两侧围岩中普遍发育。

从上述种种的穿切、包容、演化关系可总结出一个大致的蚀变带期次: 长石化(钾长石化、红化)→硅化、绢英岩化、绿泥石化、绿帘石化→黄铁绢英岩化→黄铁矿化(可与绢英岩、石英组成各种蚀变组合而构成矿体)→碳酸岩化(绿泥石化、绿帘石化、硅化)。

应该强调的是, 由于各矿床形成时含矿溶液成分和地质条件不同, 从而成因类型不同, 所以蚀变的期次都有所差别, 以上的概括只是一般的规律性。

第三节 成矿阶段

金矿床由于成因类型不同,成矿阶段必有差异。即使是同一矿床,各矿床学家由于观察角度不同,认识有别,成矿阶段的划分也各有主张。但是,就区内各主要矿床来说也可找到共同的论点:

1.从大的分期可分成热液成矿期和表生期。

2.热液成矿期的第Ⅰ成矿阶段不含矿石英脉,称为无水硅酸盐阶段,表现为钾长石石英脉。钾长石呈肉红色,微斜长石为半自形粒状,石英呈灰白色。少量黄铁矿呈立方晶形。第Ⅱ成矿阶段为含水硅酸盐阶段,表现为白云母石英脉,少量细粒黄铁矿呈立方体。以上两个阶段为无矿阶段(陈光远等对玲珑金矿的划分)。这两个阶段生成的矿物对采集矿化年龄样品极为有利。

3.早期硫化物阶段(Ⅲ)。这是一个重要的成矿阶段,其矿物组合复杂。可根据黄铁矿、石英(主要载金矿物)和其它矿物的组合以及相互关系,此阶段又可分为单独的三个矿化阶段或六个亚阶段。

这几个阶段的特点是石英比前两个阶段减少,不独立成脉而是伴硫化物矿物产出,说明溶液由碱性、弱碱性转变为酸性。

4.多金属硫化物阶段(Ⅳ)。硫化物种类逐渐增多,随着硫浓度增大,金属组分变得更为复杂。主要金属矿物有闪锌矿、方铅矿、白铁矿等,含矿溶液向碱性发展。此成矿阶段形成有工业意义的矿床。

5.碳酸盐阶段(Ⅴ)。晚期的碳酸盐以细脉状石英方解石的形成出现且穿插早阶段的矿脉和围岩。有些矿区此阶段不含矿,是整个成矿作用的尾声。但在一些矿区属含金碳酸盐阶段,形成含金碳酸盐脉,叠加作用明显,方解石矿化并含有明金。

6.表生期。构成矿床的氧化带,矿石呈蜂窝状,品位提高,最高可达数百克每吨。

第三章 矿化期同位素年龄测定样品的挑选

对矿化年龄的测定有两种测定方法:其一是间接测定;其二是少数直接用蚀变矿物(多为蚀变绢云母)进行测定。直接测定要求单矿物挑选纯度在 85%—95% 甚至大都在 95% 以上。如此高的纯度,势必造成人力物力的极大投入,致使许多应用者望而却步。当然问题的本质不在于它的苛刻,而在于它是否必要。针对此问题,我们进行了专门的探讨并积累了成功的经验。

第一节 Rb—Sr 法测定同位素年龄样品的必备前提

1. Rb—Sr 等时线年龄测定方法的基本原理是根据 ^{87}Rb 放射衰变产生放射成因的 ^{87}Sr 。其衰变通式如下:



式中: ^{87}Rb ——母体放射性元素; ^{87}Sr ——放射性生成 Sr;

β^- ——放负电的贝塔粒子; γ ——中微子;Q——衰变能。

通过计算整个衰变过程所经历的时间即得出同位素年龄。故此,样品中必须含有母体 ^{87}Rb 和它的子体 ^{87}Sr 。[

2. 地质体或一个地质事件(包括矿化)形成时起至今必须保持 Rb 和 Sr 的“封闭体系”,即母体 Rb 和子体 Sr 既不能添加也不能丢失。

3. 地质体或地质事件在形成时,应有相同的物质来源。用 Rb—Sr 等时线法测定同位素年龄的各样品点若很好地落在一条线上的话,即应有一个相同的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比,一般当作为同期、同源的标志。

4. 为了得到良好的等时线,必须使样品落点在等时线上“拉得开”,局部集中的样品落点经放大后线性也应良好,否则不能与拉开的点一起回归拟合。因而要求样品的 Rb/Sr 比值应有所差别,最主要的是 Sr 要有低值和高值。

第二节 样品挑选的依据

一、含 Rb—Sr 样品的确定

Rb 是碱金属,属第 I_A 族,它能在所有含钾矿物中代替钾。因为 Rb 不形成任何独立的矿物,所以我们在挑选矿物时,只能以含钾的多少间接地确定样品中 Rb 的含量。如云母类、钾长石类、粘土类矿物中 Rb 含量都较高。矿物包裹体中的微量 Rb 也可以成为测试的对象。通常被认为不含 Rb 的石英,因其含有足够的气液包裹体,同样可以被选为测试样品。

Sr 是碱土金属,属第 II_A 族,它可构成独立矿物菱锶矿(SrCO_3)和天青石(SrSO_4)。Sr 在许多矿物中替换钙,因此 Sr 还存在于斜长石、磷灰石、碳酸钙等矿物中。所以视样品中含

钙的多少,可间接确定 Sr 的存在。

由于含 Rb 矿物中⁸⁷Rb 不断放射产生⁸⁷Sr,所以 Sr 总是在不断地变化。矿物形成时 Rb 含量在各个矿物中不一样,即使同一种矿物,它的不同部位 Rb 的含量也不尽相同。所以 Sr 的总含量也必然有所差异。因此,可依照 Rb-Sr 的上述化学性质进行鉴别并挑选出含 Rb-Sr 的样品。

二、同源、同期,封闭体系矿化样品的确定

金属矿床(包括金矿床)多是热液矿床,其围岩蚀变类型复杂并常具有多阶段性和分带性。研究围岩蚀变的特征,从中取出满足 Rb-Sr 等时线年龄方法所要求的样品,是矿化年代学研究工作的关键。

蚀变岩组合为多期热液作用而成,其蚀变矿物都和矿化有着密切的联系。它们或为矿化前期的预示性先导矿物,或为矿化同步生成的伴生矿物,或为矿化末期的收尾矿物。我们认为它们均属一次成矿作用,只是不同期次,不同阶段之产物罢了。

岩浆热液和地下水、地表水相混合形成含矿热液。分散在岩石中的自然金呈零价存在,要使金迁移到热液中去进而使其富集,必须使 Au⁰变成 Au³⁺即通常称之金活化。金被氧化除要求有合适的温度、压力、pH、氧化电位等条件外,尚需要强氧化剂及络合剂的存在。氧化剂可使金变成离子而进入热液,络合剂将氧化形成的金属离子结合成稳定的络离子进行迁移。

在矿体组成上碳酸盐是主要矿物。早期可出现铁白云石,菱铁矿;晚期出现钙镁碳酸盐类矿物。因为碳是变价元素(C⁰,C²⁺,C⁴⁺),所以碳的化合物对金活化起了一定作用。当含金的岩石中碳酸盐矿物遭到高温分解时(菱铁矿分解温度 540℃,方解石为 900℃),分解的一瞬间将出现氧((CO₃)²⁻→CO₂+O²⁻),构成强氧化环境,使金氧化。

硫化物也是矿石中的重要成分。硫是变价元素,黄铁矿分解形成(HS)¹⁻时,S₂²⁻将还原成 S²⁻而使金得到氧化。

含铁矿物也是组成金矿石的主要部分。当含 Fe³⁺的岩石遭受偏酸性溶液作用时,Fe³⁺将按 Fe³⁺+e→Fe²⁺进行还原,使金氧化。

其它变价元素 Cu、Mn 都有自身还原使金氧化的作用。

以上所说金的活化过程是多次进行的金的富集萃取过程。引起沉淀的因素主要是温度、压力、pH、Eh 的变化和相互作用。金及相伴硫化物的沉淀温度在 300℃左右。较早的石英形成高于 300℃,较晚的碳酸盐可低于 300℃。

引起 pH 变化的因素包括外来物质进入溶液及溶液中的组分被排出,如碳酸盐围岩与溶液作用以及碱性水进入溶液使碱增加。溶液中 K、Na 等组分结晶及溶液与酸水相遇都将使溶液的酸度提高。

呈 Au-S 络合物运移的溶液,在沉淀早期呈碱性,当长石析出后,溶液显中偏酸性,此时石英析出(pH 为 4.8—7.4),之后溶液继向中性演化进入金及硫化物沉淀的环境(pH 为 6.19—7.51),以后溶液变为碱性,为碳酸盐矿物沉淀创造条件。

含矿热液上升到浅处,氧和酸性水的进入可提高其氧化电位,形成含 Fe³⁺的矿物,但总系统仍处在一个还原环境中。此时还原剂 Fe²⁺、S²⁻等将 Au¹⁺还原成 Au⁰(自然金)而沉淀出。这就是经常可以见到 Au-Fe 紧密相伴,金表现出来的亲铁性以及两者常发育在矿脉

旁或脉壁的围岩绿泥石化带中的原因。

经上述分析,在金从含矿溶液中析出沉淀的整个过程中可以看到:金矿化产生和氧化环境中析出了长石、石英(可称矿化先导性蚀变矿物或金矿化预示性矿物);还原环境中产生的黄铁矿,铁的进入使含铁矿物产生云母类矿物(称金矿伴生矿物);含矿溶液变为碱性碳酸盐的沉淀,如方解石脉的产出蚀变矿物(称矿化收尾);等等。这些都说明,在有机的形成金矿的全过程中,始终处于一个同源同期的大封闭体系之内。

第三节 封闭体系的辩证认识和处理

1.如前所论,含矿溶液处在不同的地球化学环境就生成不同的矿物组合,产生不同的围岩蚀变带。我们用一次金矿化中不同矿化阶段所产生的蚀变带(简称化带)中的岩石或矿物作 Rb-Sr 等时线同位素年龄,即可得到对应的不同化带的年龄。把化带与成矿阶段有机地联系起来考虑又可得不同矿化阶段的同位素年龄。此时我们是把不同矿化蚀变带分别作为独立的 Rb-Sr 封闭体系来看待的。

热液矿床的成床作用是脉动、多期、长期而往复式的。只要一次矿化过程其脉动时间间隔不大于主成矿期年龄的 10%,我们就可以把这一次成矿作用从成矿前期钾长石化、硅化,主成矿期的黄铁绢英岩化到成矿后期碳酸盐化的整个过程,看成一个大的 Rb-Sr 封闭体系。把采集的各成矿阶段的年龄样品一起进行回归分析得出的 Rb-Sr 等时线就代表了这次矿化主矿化期的同位素年龄。

2.Rb-Sr 等时线法测全岩可以得出成岩的年龄,测全岩中的单矿物作等时线可以给出岩石发生热力事件的年龄。我们认为金属矿床在矿化过程中也类似这种情况,主要区别在于:岩石从成岩到发生以后的热力事件间隔可长可短,有的时间间隔可达几亿乃至十几亿年。而金属矿床每一次矿化,从开始到结束大都在几十个百万年范围之内,因此可以把一次矿化时形成宽窄不一的各个蚀变带,作为一个大的 Rb-Sr 封闭体系来看待,样品总体拟合的等时线给出的年龄就是该次主矿化期的年龄,也可说成是这次矿化的年龄。假若第二次的矿化与前一次矿化相隔时间很长,如第一次矿化年龄是 2 亿年,第二次矿化是在第一次矿化后 1 亿年发生,就应把两次矿化分别处理,不可看成一个大封闭体系。这种情况需从两次叠加矿化中区分出来,分别测定两次矿化的同位素年龄。

一次矿化中,各化带发育良好,单矿物仍保存着各自独立的 Rb-Sr 封闭体系,那么对各化带的矿物分别取样进行测定,给出的 Rb-Sr 等时线年龄就是所在各化带形成的年龄。

我们认为封闭体系可大可小,对二者应辩证看待,只要各带发育良好,就应尽可能地选出各带中蚀变矿物进行测定,确定出各成矿阶段的年龄,这无疑是对年代学工作的推进。现在年代学工作正向微区发展,对保存完好的单颗粒锆石,用离子探针质谱计可测出整个地质体的年龄史就是例证。

3.在工作中往往遇到蚀变带的各化带发育并不都完好,有时只有个别化带存在,而蚀变矿物种类又较少。在这种情况下,我们才把这次矿化引起的蚀变带作为一个大封闭体系来处理,尽可能地把能取到的蚀变矿物或蚀变岩、矿石一起进行回归分析,给出这次矿化的同位素年龄。只要一组样品做等时线拟合之后,相关系数在 0.99 以上,则可以将这个大封闭体系中的 Rb-Sr 看成是均一化的,保持良好的。这样处理的 Rb-Sr 等时线给出的年龄,基本